

Revista Brasileira de Nutrição Esportiva

ISSN 1981-9927 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbne.com.br

EFEITO DA SUPLEMENTAÇÃO ANTIOXIDANTE SOBRE O ESTRESSE OXIDATIVO INDUZIDO PELO EXERCÍCIO - REVISÃO SISTEMÁTICA

Patrícia Szuck¹,
Daniela de Almeida Santos¹,
Renata Pietro Bom¹,
Francisco Navarro^{1,2},
Fabiano de Macedo Salgueirosa³

RESUMO

Objetivo: O objetivo desta revisão é analisar criticamente os estudos sobre o efeito da suplementação e/ou alimentação antioxidante sobre o estresse oxidativo induzido pelo exercício. **Revisão da Literatura:** Foram selecionados trabalhos de 1992 a 2010, totalizando 48 artigos (43 internacionais, 05 nacionais). A revisão sistemática demonstrou que poucos são os estudos que apresentam resultados positivos com a suplementação antioxidante sobre o estresse oxidativo induzido pelo exercício. O uso inadequado de suplementos antioxidantes pode impedir adaptações necessárias e benéficas do exercício e interferir na hormese. **Conclusão:** O exercício físico pode levar ao estresse oxidativo, porém o uso demasiado de suplementos antioxidantes para tentar controlá-lo pode interferir em adaptações e não ser necessário. Assim estudos a longo prazo sobre a real necessidade de antioxidantes adicionais a praticantes de exercício físicos se fazem necessários e de extrema relevância, tentando estabelecer parâmetros de utilização de suplementos e padrões de protocolos.

Palavras-chave: Estresse oxidativo, Suplementos/alimentos antioxidantes, Radicais livres, Exercício físico.

ABSTRACT

Effects of antioxidative supplementation on oxidative stress in endurance and resistance exercise – systematic review

Objective: The objective of this review is to critically analyze the studies on the effect of supplementation and / or antioxidant diet on oxidative stress induced by exercise. **Literature Review:** Selected works from 1992 to 2010, totaling 48 articles (43 international, 05 national). The systematic review demonstrated that there are few studies showing positive results with antioxidant supplementation on oxidative stress induced by exercise. Improper use of antioxidant supplements can prevent necessary adaptations and beneficial exercise and interfere with hormesis. **Conclusion:** Physical exercise can lead to oxidative stress, but the overuse of antioxidant supplements to try to control it may interfere with adaptations and not necessary. Thus long-term studies on the actual need additional antioxidants to practitioners of physical exercise are necessary and extremely important, trying to establish parameters for the use of supplements and protocol standards.

Key words: Oxidative stress, Supplements / antioxidant foods, Free radicals, Exercise.

1 - Programa de Pós Graduação Lato Sensu da Universidade Gama Filho - Bases Nutricionais da Atividade Física: Nutrição Esportiva

2 - Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício.

3 - Universidade Tuiuti do Paraná - UTP

E-mail:

patyszuck@hotmail.com

dani_dossantos@hotmail.com

renatapietro@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Exercícios físicos extenuantes, devido ao elevado consumo de oxigênio ou por várias outras vias, geram um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e radicais livres (Neubauer e colaboradores, 2010; Ji e colaboradores, 2004; Gomez-Cabrera e colaboradores, 2005; Morillas-Ruiz e colaboradores, 2005a; Minato e colaboradores, 2003; Williams e colaboradores, 2006), consequentemente levando ao estresse oxidativo (Shneider e colaboradores, 2009; Vicent, Morgan e Vicent, 2004; Vider e colaboradores, 2001), o qual é caracterizado por causar danos em biomembranas (Jr., Oliveira e Pereira, 2005; Wiswedel e colaboradores, 2004) além de vários efeitos nocivos à saúde (Aguiló e colaboradores, 2005).

Para tentar conter o estresse oxidativo, muitos atletas fazem uso de suplementos antioxidantes (Urso e Clarkson, 2003), principalmente das vitaminas A, C e E, além de selênio, polifenóis e outros (Margaritis e colaboradores, 2003; Rebelatto e colaboradores, 2008; Ristow e colaboradores, 2009; McAnulty e colaboradores, 2004). Todavia ainda não está claro se o exercício extenuante aumenta as necessidades de antioxidantes na dieta (Morillas-Ruiz e colaboradores, 2005b). Além disso, a suplementação com antioxidantes pode bloquear sinalizações que geram adaptações (Gomez-Cabrera e colaboradores, 2008; Sachdev e Davies, 2008; Reid, 2001) e impedir efeitos benéficos da hormese (Mattson, 2008).

O objetivo desta revisão é analisar criticamente os estudos sobre o efeito da suplementação e/ou alimentação antioxidante sobre o estresse oxidativo induzido pelo exercício.

MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão sistemática foi realizada nas bases de dados Scirus (www.scirus.com), Highwire (www.highwire.stanford.edu), PubMed (www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed), Scielo (www.scielo.gov), Bireme (www.bireme.com) e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (www.bdtb.ibict.br) concluída em fevereiro de 2011, utilizando os termos de busca estresse

oxidativo, suplementos/ alimentos antioxidantes, radicais livres e exercício físico.

Foram selecionados trabalhos de 1992 a 2010, sendo 48 artigos originais (43 internacionais e 05 nacionais) após os seguintes critérios de Inclusão: estudos realizados com humanos; avaliação do efeito antioxidante de algum alimento e/ou suplemento sobre marcadores de estresse oxidativo; realização de exercício físico por pelo menos um dos grupos de cada estudo.

REVISÃO DE LITERATURA

Exercícios Físicos e Estresse Oxidativo

A produção de radicais livres pelo músculo esquelético é reconhecida desde a década de 1950, sendo ao final da década de 1970 realizadas as primeiras demonstrações que o exercício físico estava associado com o aumento na formação de EROs e radicais livres (Jackson, Pye e Palomero, 2007).

Algumas EROs são chamadas de radicais livres, moléculas de coexistência independente como o anion superóxido e o radical hidroxil. Por conterem um ou mais elétrons não pareados na sua órbita mais externa, essas moléculas são extremamente instáveis, apresentam meia vida relativamente curta e são quimicamente muito reativas (Kerksick e Willoughby, 2005; Sachdev e Davies, 2008; Williams e colaboradores, 2006), sendo capazes de oxidar várias biomoléculas como carboidratos, aminoácidos, ácidos graxos e nucleotídeos (Tsakiris e colaboradores, 2006).

As EROs são produtos intermediários que se formam principalmente na beta-oxidação, assim como nas: auto-oxidação de hidroquinonas, metabolismo prostanóide, xantina oxidase, fosforilação oxidativa, aumento em catecolaminas, mieloperoxidase além de liberação de radicais livres por macrófagos recrutados para reparar o dano tecidual. (Aguiló e colaboradores, 2005; Kerksick e Willoughby, 2005; Nieman e colaboradores, 2004; Vicent, Morgan e Vicent, 2004; Urso e Clarkson, 2003; Reid, 2001; Williams e colaboradores, 2006).

O músculo esquelético forma EROs em baixos níveis durante o repouso e em altos níveis durante a contração (Ferreira e Reid, 2008). Portanto, exercícios físicos extenuantes, intensos e/ou de longa duração

geram um aumento na produção de EROs (Vicent, Morgan e Vicent, 2004; Neubauer e colaboradores, 2010; Ji e colaboradores, 2004; Gomez-Cabrera e colaboradores, 2005; Morillas-Ruiz e colaboradores, 2005; Minato e colaboradores, 2003; Williams e colaboradores, 2006). Com o aumento dos radicais livres, que provoca uma demasiada produção de intermediários reativos como proteínas carboniladas, malondialdeído e hidroperóxidos lipídios ocorre uma interferência nas vias bioquímicas normais das células (Vicent, Morgan e Vicent, 2004), sendo os principais componentes celulares atacados os lipídios, causando a peroxidação lipídica, que leva a formação de mais radicais livre e EROs, podendo prejudicar outros componentes celulares (Urso e Clarkson, 2003).

A formação exagerada de radicais livres leva a um desequilíbrio entre estes e o

sistema de defesa antioxidante do organismo, que normalmente suprime tais radicais e seus efeitos danosos (Witt e colaboradores, 1992; Machefer e colaboradores, 2004; Urso e Clarkson, 2003). Essa incapacidade do sistema de defesa antioxidante frente aos radicais livres provoca o chamado estresse oxidativo (Schneider e colaboradores, 2009; Vicent, Morgan e Vicent, 2004; Vider e colaboradores, 2001).

O estresse oxidativo, que pode ser induzido tanto pelo exercício aeróbico quanto pelo resistido (Vicent, Morgan e Vicent, 2004), causa danos em biomembranas e alterações em lipoproteínas plasmáticas (Wiswedel e colaboradores, 2004), provocando detrimientos em moléculas ou no organismo como um todo (Deresz e colaboradores, 2007), como podemos observar na Tabela 1 a ação das EROs frente os biomarcadores.

Tabela 1 - Estudos sobre o efeito da suplementação antioxidante sobre o estresse oxidativo induzido pelo exercício em humanos

	Amostra	Treinados	Não treinados	Protocolo de exercício	Suplementação/duração	Controle Nutricional	Resultado em biomarcadores
Morillas-Ruiz, e colaboradores, 2005	26 homens	Sim	Não	90min de exercício a 70% do VO2 em bicicleta ergométrica	Bebida antioxidante com (81g/L de uva preta e 39g/L de groselha) 15 minutos antes do exercício e repetindo a cada 15min até completar 90min. Placebo: maltodextrina (80 g/l), ultra whey padronizada 2.5 g/l: 0.28 g/l leucina, 0.13 g/l isoleucina, valina 0.12 g/l, arginina 0.05 g/l, 0.16 g/l glutamina)	Café da manhã padrão 30min antes do exercício	Grupo suplemento: ↓ PC Grupo placebo: ↑ 8-OHdG
Senturk e colaboradores, 2005	18 homens jovens	Sim	Sim	Bicicleta ergométrica (início de 50W e aumentando em 50W a cada 2 minutos) o teste durou 8-12 minutos até exaustão	Vitamina A (beta-caroteno; 50 mg/dia), Vitamina C (ácido ascórbico; 1,000mg/dia), e Vitamina E (alfa-tocopherol; 800 mg/dia) por dois meses.	Não	Grupo suplemento: ↔ SOD e CAT ↑ GPX ↓ H2O2 Grupo placebo: ↑ GPX
Goldfarb, Bloomer e Mckenzie, 2005	18 mulheres	Não	Sim	3 concentrações isométricas máx com o braço não dominante, durando 3seg com 60seg de descanso	400 UI de vitamina E, 1g de Vitamina C e 90mcg de selênio por dia após exercício 14 dias antes do treino e dois dias depois.		Recordatório 24h

Revista Brasileira de Nutrição Esportiva

ISSN 1981-9927 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbne.com.br

Morillas-Ruiz, e colaboradores, 2005	30 homens	Sim	Não	Dois ciclos retangulares de 90min em bicicleta ergométrica a 70% do VO2	Bebida com polifenóis (2.3g/bebida) tomando a cada 15 minutos, iniciados 15 minutos antes do exercício. Total de 1600ml.	Recordatório 24h com cálculo de macro e micronutrientes; café da manhã pré exercício padronizado
Pilaczynska-Szczesniak, e colaboradores, 2005	19 homens	Sim	Não	1 mês de duração. Exercício ergométrico de remos – início com 40% da força máxima em 2000m de remo, aumentando a cada 3 minutos para 50,60,70,80,90% da força máxima. Cada 3 minutos de exercício tinham 30 segundos de descanso	Bebida rica em antocianina (150ml da bebida em 3 doses) por 4 semanas. Placebo recebeu a mesma quantidade de bebida contendo 6.6% de betaina e 1% de ácido cítrico	Recordatório 24h com cálculo de ingestão energética e de micronutrientes
Bloomer, Goldfarb, Mckenzie, 2006	23 mulheres e 25 mulheres	Sim	Não	Corrida por 30 minutos a 80% do VO2 máximo	400 UI de vitamina E e 1g de Vitamina C; extrato concentrado de frutas e vegetais em pó (cápsulas); placebo por 4 semanas.	Recordatório 24h de 3 dias com cálculo de calorias, macro e micro nutrientes (vit. C, E e A)
Zoppi e colaboradores, 2006	10 jovens do sexo masculino	Sim	Não	Treino regular por 3 meses	1000mg de Vitamina C e 800mg de vitamina E, encapsulada, divididas em 4 doses ao dia, por 90 dias. Grupo placebo recebia cápsulas com maltodextrina	Controle com adequação alimentar para equivaler em vitaminas, com refeições feitas no club
Bloomer e colaboradores, 2007	36 homens	Sim	Não	10 séries de 10 repetições de supino a 70% de 1RM. (somente os movimentos excêntricos). 2 minutos de repouso entre cada série.	1000mg de vit. C + 378mg mix de tocoferóis (41mg alfa, 3mg beta, 84mg delta, 250mg gama) e 39,5mg de tocotrienóis (11mg alfa, 1,5mg beta, 5mg delta, 22mg gama). Duas cápsulas por dia (1 pó e 1 gel) durante 14 dias antes do teste e 2 dias de recuperação pós-teste. Placebo: óleo de soja e celulose.	Recordatório 24hr com cálculo de macro e micronutrientes (vit. C, A e E). Grupo suplemento e placebo: ↔ CK, PCR, peróxidos e PC Grupo exercício + aox: ↑ CK
Machefer e colaboradores, 2007	17 (16 homens e 1 mulher)	Sim	Não	Durante a corrida da Maratona de Sables (seis corridas longas no deserto)	150mg de vitamina C, 24mg de vitamina E e 4.8mg de betacaroteno, antes e depois da prova	Recordatório de sete dias, mantido dieta usual. Com análise de macronutrientes e micronutrientes (E, C, betacaroteno, B1, B2 e B12) Grupo suplemento: ↑GSH, CK e LDH ↓ SOD ↔ TBARS Grupo controle: ↓ TBARS

Revista Brasileira de Nutrição Esportiva

ISSN 1981-9927 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbne.com.br

Panza e colaboradores, 2008	14 homens	Sim	Não	Supino, 4 séries de 10 a 4 repetições	7 dias de consumo de chá verde (2g de folhas com 200ml de água 3x ao dia)	Café da manhã pré exercício padronizado. Recordatório 24h de três dias e ficha de frequência. Analisado macro e micronutrientes	Grupo suplemento: ↑GSH ↓LH ↑AST (menor que placebo) ↔ XO Grupo controle: ↑AST, XO e CK
Zembron-Lacny e colaboradores, 2009	33 homens	Sim	Sim	Isométrico e isocinético de músculos quadríceps	600mg de ácido alfa-lipólico por dia durante oito dias. Placebo recebeu 700mg de lactose	Recordatório 24h e repetição do padrão da dieta deste recordatório no segundo dia de teste	Grupo suplementado: ↓GSH, GR, TBARS e PC ↑GS e GPx Grupo controle não treinado: ↓TT
Hoffman e colaboradores, 2010	10 homens	Sim	Não	Bicicleta ergométrica até 60% do vo 2maximo	5,2g de l-arginina combinada com l-citrulina 500mg de vitamina C, 400UI de vitamina E, 400mcg de ácido fólico, 300mg de l-taurina e 10 mg de ácido alfa lipólico administradas antes de dormir	Recordatório 24h e padrão de café da manhã antes do exercício	Grupo placebo e suplementado: ↔PCR, IL-6 e MDA
Arent e colaboradores, 2010	18 homens	Sim	Não	Teste de Wingate 8 repetições máximas com intervalo de 10 segundos	1760mg de extrato de chá preto por nove dias ou placebo	Não	Grupo suplemento: ↓GSSG ↑GSH x GSSG ↓Cortisol ↔IL-6
Bloomer e colaboradores, 2010	25 idosos	Sim	Não	GXT até exaustão	Ambrotose 2g ao dia por 3 semanas	Avaliação dietética por recordatório 24h	Grupo controle e suplementado: ↔MDA, H2O2 e NOx
Muñoz e colaboradores, 2010	400 pessoas idosas	Não	Sim	Dois anos de treino moderado cercendo para intenso, com treino variando entre 30 e 40 minutos	Uso da bebida antioxidante com 5.3mg de vitamina E, 36.3mg de vitamina C e 413mcg de vitamin A	Recordatório 24h e avaliação da ingestão de macro e micronutrientes	Grupo suplemento: ↓TBARS, PC Grupo exercício: ↑TBARS e PC Grupo placebo: ↔TBARS, PC,

É de conhecimento que o corpo humano possui um complexo sistema de defesa antioxidante, formado por enzimas como a catalase, superóxido dismutase, glutathione peroxidase além da ação de muitos antioxidantes não-enzimáticos como as vitaminas A, C e E, a glutathione, a ubiquinona e os flavonóides, que neutralizam os radicais livres e EROs formados continuamente no processo metabólico normal do organismo (Kerksick e Willoughby, 2005; Deresz e colaboradores, 2007; Tsakiris e colaboradores, 2006; Urso e Clarkson, 2003).

Como o exercício aumenta a produção de radicais livres gerando estresse oxidativo, muitos atletas fazem uso de suplementos

antioxidantes para tentar controlar esse estresse (Urso e Clarkson, 2003).

Apesar da vasta aplicação da suplementação com antioxidantes esta ainda não apresenta resultados consistentes. Assim como não está claro se o exercício extenuante aumenta as necessidades de antioxidantes na dieta. (Morillas-Ruiz e colaboradores, 2005; Urso e Clarkson, 2003). Os resultados de estudos com altas doses de suplementação antioxidante em atletas têm sido controversos, alguns apresentando efeitos positivos, outros efeitos negativos e outros ainda sem nenhum efeito (Neubauer e colaboradores, 2010; e Kerksick e Willoughby, 2005).

Para Nieman e colaboradores (2004) uma vitamina considerada antioxidante pode

exercer efeitos antioxidantes, neutros ou pró-oxidantes dependendo da dose e das condições experimentais. Altas doses de antioxidantes podem atenuar as adaptações celulares ao treinamento e os efeitos benéficos do exercício à saúde (Neubauer e colaboradores, 2010).

Senturk e colaboradores (2005) demonstram a eficácia de suplementar multivitamínicos antioxidante na prevenção de alterações neurohorméticos, que podem estar elevadas durante e/ou após um episódio de exercício exaustivo, especialmente em indivíduos não treinados.

Vitamina E num momento inicial pode agir como antioxidante, eliminando EROs, porém num segundo momento acaba tornando pró-oxidante, diminuindo a atividade da SOD (Schneider, 2007 tese).

Alguns estudos demonstram que o nível de treinamento interfere no estado de estresse oxidativo do indivíduo após o exercício. Viinikka citado por Witt e colaboradores (1992) realizando estudo com indivíduos bem treinados não encontrou elevação em TBARS, já estudo de Sumida citado por Witt e colaboradores (1992) utilizando protocolo de exercício parecido, mas com indivíduos não tão bem treinados, encontrou pequena, mas significativa elevação em TBARS. A intensidade do exercício também interfere, exercícios de 40 a 70% do $VO_2\text{max}$ diminuem a lipoperoxidação plasmática, porém exercícios a 100% do $VO_2\text{max}$ aumenta essa lipoperoxidação (Witt e colaboradores, 1992).

A suplementação antioxidante em indivíduos que não praticam exercício regularmente pode ser útil na prevenção de eventos adversos relacionados ao exercício (Senturk e colaboradores; 2005). Órgãos vinculados aos esportes como o *American College of Sports Medicine* (ACMS), *UK Sport*, o *Australian Institute of Sport* (AIS) e o *International Olympic Committee* (IOC) são unânimes na recomendação que atletas devem procurar um nutricionista esportivo qualificado em relação a aconselhamento dietético individualizado sobre suplementos (Williams e colaboradores, 2006).

Estresse oxidativo, adaptações e hormese

O estresse oxidativo ameno induz respostas adaptativas e aumento das defesas antioxidantes. Enquanto o estresse oxidativo

severo causa danos oxidativos que podem levar a morte celular, danos teciduais e inflamação. EROs e radicais livres têm influência sobre vários processos, desde vias de transdução de sinais vitais até danos teciduais. Sendo responsáveis tanto pelos danos quanto pelas adaptações do exercício físico (Ferreira e Reid, 2008; Sachdev e Davies, 2008).

O estresse oxidativo induzido pelo exercício não é somente prejudicial, radicais livres e estresse oxidativo durante o exercício são importantes para a performance, recuperação e saúde (Kerksick e Willoughby, 2005; Kevin e colaboradores, 2002). Estudos indicam que para ocorrer as adaptações musculares é necessário haver um aumento nas EROs (Urso e Clarkson, 2003; Williams e colaboradores, 2006). As EROs não são somente agentes danosos, mas possuem um papel fisiológico agindo como sinalizadores em moléculas para iniciar adaptações ao exercício e regular a função muscular, promovendo a função contrátil e a promoção de força pelo músculo (Reid, 2001; Neubauer e colaboradores, 2010; Gong e colaboradores, 2006). Vias de sinalização sensíveis ao estresse oxidativo utilizam EROs para transferir sinais do citosol para o núcleo, estimulando crescimento, diferenciação, proliferação e apoptose (Ji e colaboradores, 2004).

A expressão gênica é influenciada por EROs que estimulam a biogênese mitocondrial. O músculo adapta-se ao exercício por regulação da expressão de genes para enzimas antioxidantes, incluindo SOD, catalase e GPX. Suplementação antioxidante pode bloquear sinalizações oxidativas que geram adaptações (Gomez-Cabrera e colaboradores, 2008; Sachdev e Davies, 2008; Reid, 2001).

Espécies reativas de oxigênio apresentam efeitos bifásicos sobre a função contrátil do músculo esquelético. Em níveis baixos são essenciais para a produção normal de força, porém em níveis elevados a produção de força declina (Reid, 2001). Esse efeito bifásico é chamado de hormese, a qual pode ser inibida com a suplementação antioxidante (Mattson, 2008).

O termo hormese tem sido usado para descrever um fenômeno de adaptação onde um agente químico ou fatores ambientais é capaz de induzir efeitos opostos em diferentes

doses, sendo mais comum uma estimulação ou efeito benéfico em baixas doses e uma inibição ou efeitos nocivos em altas doses (Calabrese citado por Son, Camandola e Mattson, 2008).

A hormese é uma resposta adaptativa de células e organismos ao estresse moderado. Um leve estresse induz ativação de vias de sinalização, levando a alterações intrínsecas que conferem resistência a estresse mais severo (Son, Camandola e Mattson, 2008).

Durante o exercício, células musculares cardíacas e esqueléticas são submetidas a considerável estresse metabólico e oxidativo. Este estresse celular ativa múltiplos fatores de transcrição que induzem a expressão de genes, os quais codificam proteínas com funções de proteção às células contra danos. Esses mecanismos neurohorméticos são considerados serem responsáveis pelos benefícios saudáveis do exercício (Mattson, 2008).

CONCLUSÃO

O Exercício físico aumenta a produção de EROs, podendo levar ao estresse oxidativo. Mesmo que este esteja associado a vários efeitos nocivos, o seu papel no exercício físico ainda não é bem conhecido. Apesar disso, muitos suplementos antioxidantes são utilizados para tentar evitar um alto estresse oxidativo, embora o número de estudos mostrando resultados significativos desta suplementação seja muito pequeno. No decorrer do período de recuperação pós-exercício os benefícios promovidos pela suplementação necessitam de maiores pesquisas. A ingestão inadequada de suplementos ou alimentos antioxidantes pode impedir adaptações metabólicas e fisiológicas do exercício.

Estudos a longo prazo sobre a real necessidade de antioxidantes adicionais a praticantes de exercício físicos se fazem necessários e de extrema relevância, para estabelecer parâmetros de utilização de suplementos e evitar o bloqueio de adaptações necessárias.

REFERÊNCIAS

1- Aguiló, A.; Tauler, P.; Fuentespinas, E.; Tur, J.A.; Córdova, A.; Pons, A. Antioxidant

Response to Oxidative Stress Induced by Exhaustive Exercise. *Physiology & Behavior*. 2005. p. 1-7.

2- Arent, S.M.; Senso, M.; Golem, D.L.; McKeever, K.H. The effects of theaflavin-enriched black tea extract on muscle soreness, oxidative stress, inflammation, and endocrine responses to acute anaerobic interval training: a randomized, double-blind, crossover study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2010. p. 1-10.

3- Bloomer, R.J.; Goldfarb, A.H.; McKenzie, J. Oxidative Stress Response to Aerobic Exercise: Comparison of Antioxidants Supplements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2006. p. 1098-1105.

4- Bloomer, R.J.; Falvo, M.J.; Schilling, B.K.; Smith, W.A. Prior Exercise and Antioxidant Supplementation: Effect on Oxidative Stress and Muscle Injury. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2007. p. 1-10.

5- Bloomer, R.J.; Canale, R.E.; Blankenship, M.M.; Fisher-Wellman, K.H. Effect of Ambrotose AO® on Resting and Exercise-induced Antioxidant Capacity and Oxidative Stress in Healthy Adults. *Nutrition Journal*. 2010. p. 1-17.

6- Deresz, L.F.; Lazzarotto, A.R.; Manfro, W.C.; Gaya, A.; Sprinz, E.; Oliveira A. R.; Dall'Ago, P. O Estresse Oxidativo e o Exercício Físico em Indivíduos HIV Positivos. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 13. Núm. 4. 2007. p. 275-279.

7- Ferreira, L.F.; Reid, M.B. Muscle-derived ROS and Thiol Regulation in Muscle Fatigue. *Journal of Applied Physiology*. 2008. p. 853-860.

8- Goldfarb, A.H.; Bloomer, R.J.; McKenzie, M.J. Combined Antioxidant Treatment Effects on Blood Oxidative Stress after Eccentric Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2005. p. 234-239.

9- Gomez-Cabrera, M-C.; Borrás, C.; Pallardó, F.V.; Sastre, J.; Ji, L.L.; Viña, J. Decreasing Xanthine Oxidase-mediated Oxidative Stress Prevents Useful Cellular Adaptations to

Revista Brasileira de Nutrição Esportiva

ISSN 1981-9927 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbne.com.br

Exercise in Rats. The Journal of Physiology. 2005. p. 113-120.

10- Gomez-Cabrera, M.C.; Domenech, E.; Romagnoli, M.; Arduini, A.; Borrás, C.; Pallardo, F.V.; Sastre, J.; Viña, J. Oral Administration of Vitamin C Decreases Muscle Mitochondrial Biogenesis and Hampers Training-induced Adaptations in Endurance Performance. The American Journal of Clinical Nutrition. 2008. p. 142-149.

11- Gong, M.C.; Arbogast, S.; Guo, Z.; Mathenia, J.; Su, W.; Reid, M.B. Calcium-independent phospholipase A2 Modulates Cytosolic Oxidant Activity and Contractile Function in Murine Skeletal Muscle Cells. Journal of Applied Physiology. 2006. p. 399-405.

12- Hoffman, J.R.; Ratamess, N.A.; Kang, J.; Rashti, S.L.; Kelly, N.; Gonzalez, A.M.; Stec, M.; Anderson, S.; Bailey, B.L.; Yamamoto, L.M.; Hom, L.L.; Kupchak, B.R.; Faigenbaum, A.D.; Maresh, C.M. Examination of the efficacy of acute L-alanyl-L-glutamine ingestion during hydration stress in endurance exercise. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2010. p. 1-12.

13- Jackson, M.J.; Pye, D.; Palomero, J. The Production of Reactive Oxygen and Nitrogen Species by Skeletal Muscle. Journal of Applied Physiology. 2007. p. 1664-1670.

14- Ji, L.L.; Gomez-Cabrera, M.C.; Steinhafel, N.; Viña, J. Acute Exercise Activates Nuclear Factor (NF)- κ B Signaling Pathway in Rat Skeletal Muscle. The Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology. Vol. 18. 2004. p. 1499-1506.

15- Jr, T.P.S.; Oliveira, P.R.; Pereira, B. Exercício Físico e Estresse Oxidativo: Efeitos do Exercício Físico Intenso Sobre a Quimioluminescência Urinária e Malondialdeído Plasmático. Brasileira de Medicina do Esporte. Vol. 11. Núm. 1. 2005. p. 91-96.

16- Kerksick, C.; Willoughby, D. The Antioxidant Role of Glutathione and N-Acetyl-Cysteine Supplements and Exercise-induced Oxidative Stress. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2005. p. 38-44.

17- Kevin, L.G.; Camara, A.K.S.; Riess, M.L.; Novalija, E.; Stowe, D.F. Ischemic Preconditioning Alters Real-time Measure of O₂ Radicals in Intact Hearts with Ischemia and Reperfusion. American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology. 2002. p. 566-574.

18- Machefer, G.; Groussard, C.; Rannou-Bekono, F.; Zouhal, H.; Faure, H.; Vicent, S.; Cillard, J.; Gratas-Delamarche, A. Extreme Running Competition Decreases Blood Antioxidant Defense Capacity. Journal of the American College of Nutrition. Vol. 23. Núm. 4. 2004. p. 358-364.

19- Machefer, G.; Groussard, C.; Vincent, S.; Zouhal, H.; Faure, H.; Cillard, J.; Radák, Z.; Gratas-Delamarche, A. Multivitamin-Mineral Supplementation Prevents Lipid Peroxidation during “The Marathon des Sables”. Journal of the American College of Nutrition. Vol. 26. Núm. 2. 2007. p. 111-120.

20- Margaritis, I.; Palazzetti, S.; Rousseau, A-S.; Richard, M-J.; Favier, A. Antioxidant Supplementation and Tapering Exercise Improve Exercise-Induced Antioxidant Response. Journal of the American College of Nutrition. Vol. 22. Núm. 2. 2003. p. 147-156.

21- Mattson, M.P. Hormesis Defined. Ageing Research Reviews. 2008. p. 1-7.

22- McAnulty, S.R.; McAnulty, L.S.; Nieman, D.C.; Dumke, C.L.; Morrow, J.D.; Utter, A.C.; Henson, D.A.; Proulx, W.R.; George, G.L. Consumption of blueberry polyphenols reduces exercise-induced oxidative stress compared to vitamin C. Nutrition Research. 2004. p. 209-222.

23- Minato, K.; Miyake, Y.; Fukumoto, S.; Yamamoto, K.; Kato, Y.; Shimomura, Y.; Osawa, T. Lemon Flavonoid, Eriocitrin, Suppresses Exercise-induced Oxidative damage in rat liver. Life Sciences. 2003. p. 1609-1616.

24- Morillas-Ruiz, J.M.; García, J.A.V.; López, F.J.; Vidal-Guevara, M.L.; Zafrilla, P. Effects of Polyphenolic Antioxidants on Exercise-induced Oxidative Stress. Clinical Nutrition. 2005a. p. 1-10.

Revista Brasileira de Nutrição Esportiva

ISSN 1981-9927 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbne.com.br

- 25- Morillas-Ruiz, J.; Zafrilla, P.; Almar, m.; Cuevas, M.J.; López, F.J.; Abellán, P.; Villegas, J.A.;González-Gallego, J. The Effects of an Antioxidant-supplemented Beverage on Exercise-induced Oxidative Stress: Results from a Placebo-Controlled Double-blind Study in Cyclists. *Europe Journal of Applied Physiology*. 2005b. p. 543-549.
- 26- Muñoz, M.E.; Galana, A.I.; Palacios, E.; Diez, M.A.; Muguerza, B.; Coboleda, C.; Calvo, J.I.; Aruoma, O.I.; Sanchez-Garcia, I.; Jimenez, R. Effect of an Antioxidant Functional Food Beverage on Exercise-induced Oxidative Stress: A Long-term and Large-scale Clinical Intervention Study. *Toxicology*. 2010. p. 101-111.
- 27- Neubauer, O.; Reichhold, S.; Nics, L.; Hoelzl, C.; Valentini, J.; Stadlmayr, B.; Knasmüller, S.; Wagner, K. Antioxidant Responses to an Acute Ultra-endurance Exercise: Impact on DNA Stability and Indications for an Increased Need for Nutritive Antioxidants in the Early Recovery Phase. *British Journal of Nutrition*. 2010. p. 1129-1138.
- 28- Nieman, D.C.; Henson, D.A.; McAnulty, S.R.; McAnulty, L.S.; Morrow, J.D.; Ahmed, A.; Heward, C.B. Vitamin E and Immunity after the Kona Triathlon World Championship. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2004. p. 1328-1335.
- 29- Panza, V.S.P.; Wazlawik, E.; Schütz, G.R.; Cominb, L.; Hechth, K.C.; Silva, E.L. Consumption of Green Tea Favorably Affects Oxidative Stress Markers in Weight-trained Men. *Nutrition*. 2008. p. 433-442.
- 30- Pilaczynska-Szczesniak, L.; Skarpanska-Steinborn, A.; Deskur, E.; Basta, P.; Horoszkiewicz-Hassan, M. The Influence of Chokeberry Juice Supplementation on the Reduction of Oxidative Stress Resulting from an Incremental Rowing Ergometer Exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2005. p.48-58.
- 31- Rebelatto, J.R.; Jiménez, R.; Delgado, M.A.; Muguerza, B.; Muñoz, M.E.; Galan, A.I.; Sánchez, R.M.; Arenillas, J.I.C. Antioxidantes, Atividade Física e Estresse Oxidativo em Mulheres Idosas. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 14. Núm. 1. 2008. p. 8-11.
- 32- Reid, M.B. Plasticity in Skeletal, Cardiac, and Smooth Muscle Invited Review: Redox Modulation of Skeletal Muscle Contraction: What We Know and What We Don't. *Journal of Applied Physiology*. 2001. p. 724-731.
- 33- Ristow, M.; Zarse, K.; Oberbach, A.; Klötting, N.; Birringer, M.; Kiehnopf, M.; Stumvoll, M.; Kahn, R.; Blüher, M. Antioxidants Prevent Health-promoting Effects of Physical Exercise in Humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009. p. 1-6.
- 34- Sachdev, S.; Davies, K.J.A. Production, Detection, and Adaptive Responses to Free Radicals in Exercise. *Free Radical Biology & Medicine*. 2008. p. 215-223.
- 35- Schneider, C.D.; Oliveira, A.R. Radicais Livres de Oxigênio e Exercício: Mecanismos de Formação e Adaptação ao Treinamento Físico. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 10. Núm. 4. 2004. p. 308-313.
- 36- Schneider, C.D.; Silveira, M.M.; Moreira, J.C.F.; Bello-Klein, A.; Oliveira, A.R. Efeito do Exercício de Ultrarresistência Sobre Parâmetros de Estresse Oxidativo. *Brasileira de Medicina do Esporte*. Vol. 15. Núm. 2. 2009. p. 89-92.
- 37- Senturk, U.K.; Yalcin, O.; Gunduz, F.; Kuru, O.; Meiselman, H.J.; Baskurt, O.K. Effect of Antioxidant Vitamin Treatment on the Time Course of Hematological and Hemorheological Alterations After an Exhausting Exercise Episode in Human Subjects. *Journal of Applied Physiology*. 2005. p. 1272-1279.
- 38- Son, T.G.; Camandola, S.; Mattson, M.P. Hormetic Dietary Phytochemicals. *Neuromolecular Medicine*. 2008. p. 236-246.
- 39- Tsakiris, S.; Parthimos, T.; Parthimos, N.; Tsakiris, T.;Schulpis, K.H. The Beneficial Effect of L-cysteine Supplementation on DNA Oxidation Induced by Forced Training. *Pharmacological Research*. 2006. p. 386-390.

Revista Brasileira de Nutrição Esportiva

ISSN 1981-9927 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbne.com.br

40- Urso, M.L.; Clarkson, P.M. Oxidative Stress, Exercise, and Antioxidant Supplementation. *Toxicology*. 2003. p. 41-54.

41- Vicent, H.K.; Morgan, J.W.; Vicent, K.R. Obesity Exacerbates Oxidative Stress Levels after Acute Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2004. p.772-779.

42- Vider, J.; Lehtmaa, J.; Kullisaar, T.; Vihalemm, T.; Zilmer, K.; Kairane, C.; Landõr, A.; Karu, T.; Zilmer, M. Acute Immune Response in Respect to Exercise-induced Oxidative Stress. *Pathophysiology*. 2001. p. 263-270.

43- Williams, S.L.; Strobel, N.A.; Lexis, L.A.; Coombes J.S. Antioxidant Requiriments of Endurance Athletes: Implications for Health. *Nutrition Reviews*. Vol. 64. Núm. 3. 2006. p. 93-108.

44- Wiswedel, I.; Hirsch, D.; Kropf, S.; Gruening, M.; Pfister, E.; Schewe, T.; Flavanol-Rich Cocoa Drink Lowers Plasma F2-isoprostane Concentrations in Humans. *Free Radical Biology & Medicine*. Vol. 37. Núm. 3. 2004. p. 411-421.

45- Witt, E.H.; Rezhick, A.Z.; Viguie, C.A.;Starke-Reed, P.; Packer, L. Exercise, Oxidative Damage and Effects of Antioxidant Manipulation. *The Journal of Nutrition*. 1992. p. 766-773.

46- Zembron-Lacny, A.; Slowinska-Lisowska, M.; Szygula, Z.; Witkowski, K.; Stefaniak, T.; Dziubek, W. Assessment of the Antioxidant Effectiveness of α -lipoic Acid in Healthy Men Exposed to Muscle-damanging Exercise. *Journal of Physiology and Pharmacology*. 2009. p.139-143.

47- Zoppi, C.C.; Hohl, R.; Silva, F.C.; Lazarim, F.L.; Neto, J.M.F.A.; Stancanneli, M.; Macedo, D.V. Vitamin C and E Supplementation Effects in Professional Soccer Players Under Regular Training. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2006. p. 37-44.

Recebido para publicação em 12/03/2011

Aceito em 10/05/2011